

## Avis de Soutenance

Monsieur Yanis HAZEM

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Phénomènes de haute énergie associés aux orages : instrumentation, inférence statistique et évaluation du risque*

dirigés par Monsieur Sébastien CELESTIN

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : LPC2E - Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace

Soutenance prévue le **mercredi 11 février 2026** à 14h00

Lieu : 3a Avenue de la recherche scientifique, 45071, Orléans amphi Charles Sadron, campus CNRS

Salle : Amphi Charles Sadron, Campus CNRS

### Composition du jury proposé

M. Sébastien CELESTIN	Université d'Orléans	Directeur de thèse
M. Joan MONTAÑA PUIG	Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech	Rapporteur
M. Bagrat MAILYAN	Florida Institute of Technology	Rapporteur
M. Thomas FARGES	CEA	Examineur
M. Francois TROMPIER	Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection ASNR	Co-encadrant de thèse
M. Matthieu KRETZSCHMAR	Université d'Orléans	Examineur
M. Hobara YASUHIDE	Graduate School of Informatics and Engineering	Examineur

**Mots-clés :** Physique des hautes énergies, TGF, Gamma ray glows, Plasma, Dosimétrie

### Résumé :

Les orages sont de puissants accélérateurs naturels de particules capables de produire des phénomènes de rayonnement de haute énergie tels que les flashs gamma terrestres (TGFs), les lueurs gamma (gamma ray glows GRGs) et, plus récemment, les scintillations gamma (flickering gamma ray flashes FGFs). Ces phénomènes résultent de l'accélération d'électrons dans les champs électriques intenses au sein des nuages d'orage et sont un sujet d'étude actif en raison de leurs implications pour la physique de l'atmosphère et du risque potentiel d'exposition aux rayonnements pour l'aviation. Cette thèse de doctorat fait progresser notre compréhension et la détection de ces événements atmosphériques de haute énergie grâce à une combinaison de campagnes d'observation, de développement de méthodes statistiques et d'évaluation des risques radiatifs. Une première partie est consacrée au spectromètre gamma XStorm, composé d'un scintillateur BGO et d'un scintillateur plastique, pour lequel nous avons quantifié la dépendance en température du temps de décroissance du BGO, proposé une nouvelle méthode d'étalonnage utilisant le front Compton pour le détecteur plastique, et adapté son logiciel d'acquisition pour de futures missions ballons telles que Stratéole-2. XStorm a été déployé avec succès lors des vols d'essai OREO, fournissant des données en vol précieuses sur ses performances. Dans la seconde partie, nous avons développé une nouvelle méthode d'inférence bayésienne capable de révéler des lueurs gamma de faible intensité autrement dominées par le bruit de fond. Appliquée aux données de trois stations au sol (Chofu au Japon, ainsi que La Hague et le Pic du Midi en France), cette méthode a permis d'identifier plus de 14 lueurs gamma, dont plusieurs événements trop faibles pour être détectés par les techniques statistiques traditionnelles. Les résultats indiquent que ces événements sont beaucoup plus fréquents qu'on ne le pensait et pourraient constituer une propriété systémique de l'électrification des orages. Enfin, nous avons construit un modèle statistique reliant éclairs (à partir des observations OTD/LIS) et détections de TGF par Fermi-GBM afin de proposer une carte mondiale de la densité des TGF. Le modèle estime qu'environ 520 000 TGFs suffisamment intenses pour être détectés par Fermi-GBM se produisent chaque année dans le monde, dont 87% concentrés dans les régions tropicales. En intégrant les TGFs faibles découverts récemment durant la campagne ALOFT, nous avons affiné l'estimation du risque d'exposition pour la flotte aérienne mondiale, montrant que la probabilité de recevoir une dose supérieure à 1 Sv est d'environ une fois tous les 400 ans, tandis qu'une exposition supérieure à 1 mSv pourrait survenir environ une fois tous les 16 ans. Ce travail relie instrumentation, observation et inférence statistique pour offrir une nouvelle perspective sur les phénomènes de haute énergie produits par les orages et permet de mieux cerner leurs contributions dans les phénomènes atmosphériques électriques et les expositions aux rayonnements ionisants dans l'aviation.